

Зарядное устройство для суперконденсаторов в системе резервного питания

Публикуется с разрешения Linear Technology (www.linear.com)

Джордж Барбехенн (США)

Суперконденсаторы, которыми называют конденсаторы с ёмкостью до 100 Ф, становятся альтернативой аккумуляторам в приложениях, где высокая кратковременная мощность важнее общего запаса энергии. Суперконденсаторы имеют много преимуществ перед аккумуляторами. Такими преимуществами являются низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) и высокая долговечность при многократных циклах заряда/разряда.

В случае использования суперконденсаторов в качестве накопителей энергии желательно применение специализированных микросхем. Современные суперконденсаторы имеют ёмкость до 100 Ф, но их рабочее напряжение не превышает 2,7 В. Поскольку большинство систем требуют более

высокого напряжения питания, многие суперконденсаторы поставляются как пара соединённых в батарею элементов в едином корпусе с дополнительным выводом из общей точки. Микросхема LTC4425 предназначена для заряда двух соединённых в батарею суперконденсаторов.

АРХИТЕКТУРА LTC4425

Микросхема LTC4425 имеет два режима работы: нормальный и LDO.

НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ

В нормальном режиме LTC4425 представляет собой идеальный диод с ограничением по току и функциями, необходимыми для обслуживания суперконденсатора (рис. 1). Функция идеального диода обеспечивается контроллером идеального диода и транзисторами MPSNS и MPSW. Транзистор MPSW открывается, когда V_{OUT} меньше V_{IN} более чем на 15 мВ.

Часть (1/1000) тока через вывод V_{OUT} проходит через резистор R_{prog} , при соединённый к выводу PROG, и полу-

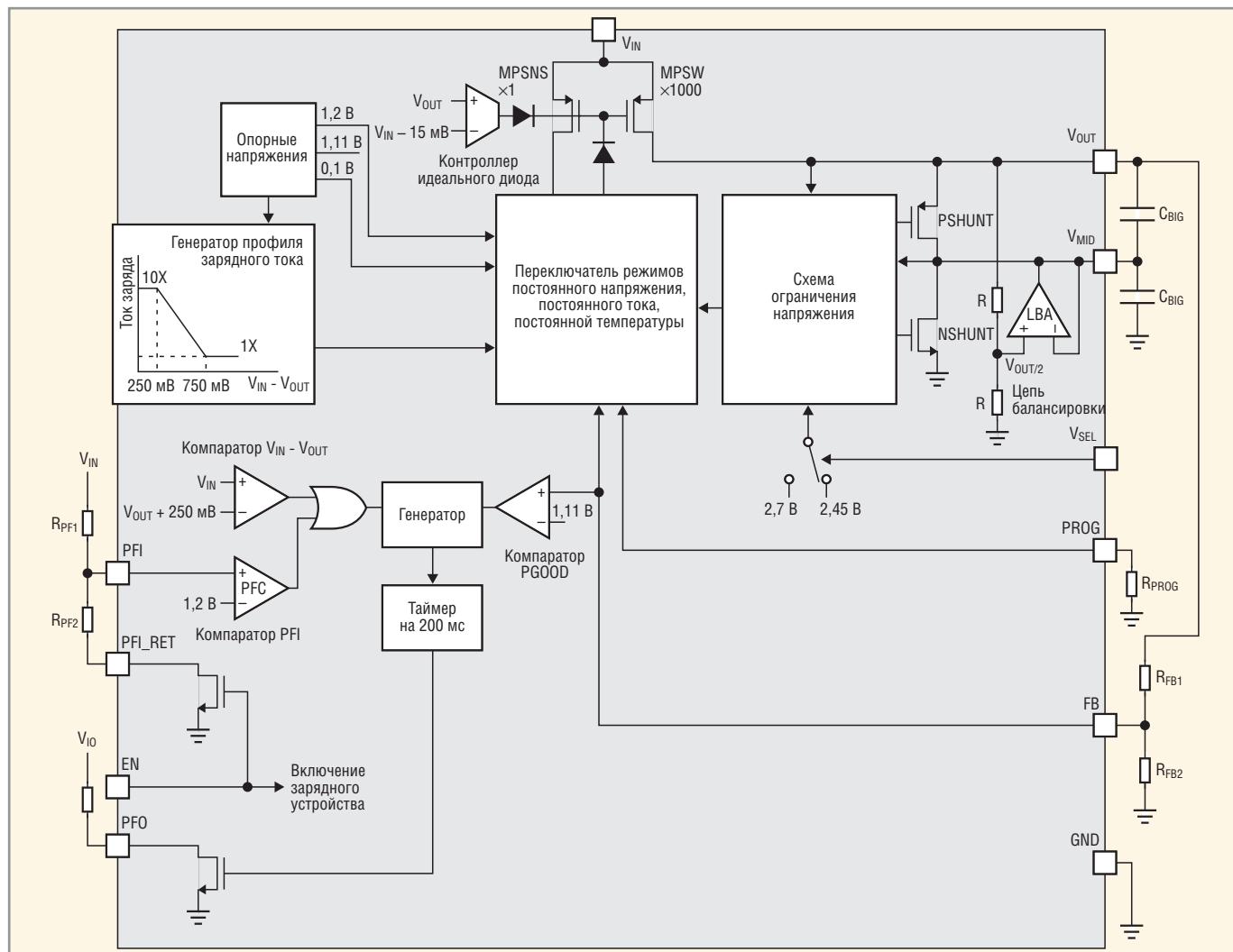


Рис. 1. Структурная схема LTC4425

ченное напряжение сравнивается с опорным. Как только напряжение на выводе PROG сравнивается с опорным, ток через вывод Vout ограничивается.

В нормальном режиме функция стабилизации управляется не выходным напряжением, а разностным напряжением $V_{in} - V_{out}$ (см. рис. 2). Нормальный режим включается присоединением вывода FB к Vin. В нормальном режиме, пока $V_{in} - V_{out} > 0,75$ В, зарядный ток составляет 1/10 установленного значения. В диапазоне $0,25 \text{ В} < V_{in} - V_{out} < 0,75$ В ток заряда линейно возрастает и достигает запрограммированного значения при $V_{in} - V_{out} = 0,25$ В. При $0,15 \text{ В} < V_{in} - V_{out} < 0,25$ В ток через Vout составляет $1000/R_{prog}$, но не может превышать 2 А. Транзистор MPSW имеет сопротивление $R_{ds(on)}$ примерно 50 мОм, поэтому когда $V_{in} - V_{out}$ достаточно мало, оно может ограничивать ток. Когда $V_{in} - V_{out} < 15$ мВ, идеальный диод выключается, и выходной ток V_{out} определяется лишь током утечки.

РЕЖИМ LDO

В режиме LDO функция стабилизации управляется не разностным напряжением $V_{in} - V_{out}$, а обратной

связью от выходного напряжения. Режим LDO включается подсоединением делителя выходного напряжения к выводу FB. В этом режиме LTC4425 ведёт себя как стабилизатор напряжения с ограничением тока нагрузки и заряда суперконденсатора. Если напряжение на суперконденсаторе принимает желаемое значение, LTC4425 продолжает отдавать в нагрузку ток, не превышающий установленное значение.

Если необходимо зарядить суперконденсатор почти до напряжения V_{in} , то следует вывод FB соединить с общим проводом. В этом режиме петля обратной связи не работает, и выходное напряжение будет меньше входного или на 15 мВ, или на напряжение $I_{out}R_{ds(on)}$, смотря какое из них больше.

Микросхема LTC4425 ограничивает ток через вывод Vout. Этот ток обычно заряжает суперконденсатор, но может также питать нагрузку. В режиме LDO этот ток ограничивается двумя способами: с помощью вывода PROG и с помощью схемы теплового ограничения.

В режиме LDO опорное напряжение PROG составляет 1 В, а ток, протекающий через подключенный к этому выводу резистор, составляет 1/1000 от



Рис. 2. В нормальном режиме профиль тока заряда суперконденсатора предотвращает броски тока

выходного. Таким образом, максимальный выходной ток составляет $1000/R_{prog}$, но не может превышать 2 А.

Если заряжать суперконденсатор ёмкостью 100 Ф током 2 А, то скорость изменения напряжения на нём составит 20 мВ/с. В процессе заряда выделяется значительная тепловая мощность, которая составляет обычно несколько ватт. Если часть выходного тока LTC4425 уходит в нагрузку, то время за-

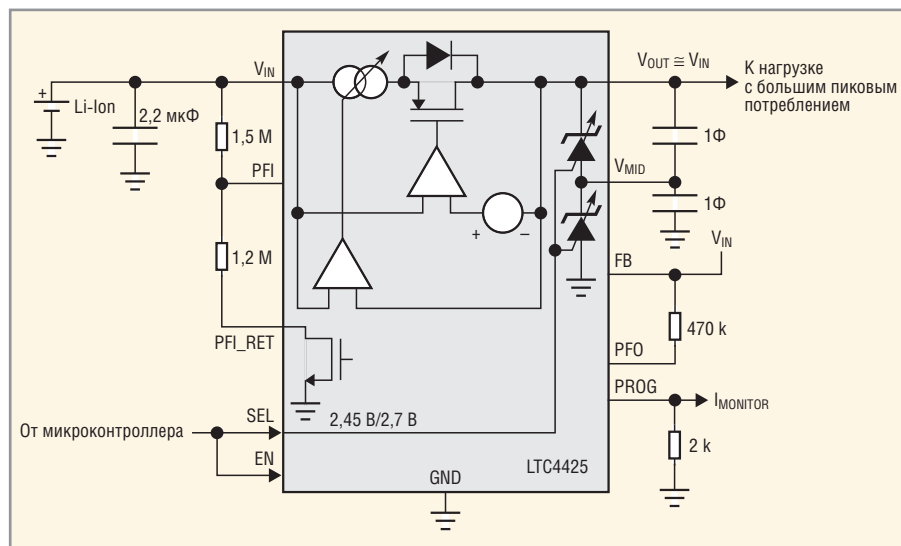


Рис. 3. Заряд двух последовательно соединённых суперконденсаторов от Li-Ion-источника

ряда суперконденсатора увеличиваться. Микросхема LTC4425 содержит цепь ограничения выходного тока, которая не позволяет кристаллу нагреться выше 105°C. Это линейная цепь, предназначенная для работы при нормальных условиях эксплуатации, а не цепь защиты, которая способна лишь предотвратить разрушение кристалла.

Особенности LTC4425

Ограничение напряжения

Напряжение ограничивается на каждом из последовательно соединённых суперконденсаторов и не может пре-

высить определённого значения. Это напряжение может составлять 2,45 или 2,7 В, оно выбирается с помощью вывода SEL.

Предположим, что входное напряжение 6 В и вывод FB заземлён. Микросхема LTC4425 работает в режиме LDO и пытается зарядить суперконденсаторы до входного напряжения. Защита по напряжению включится, как только напряжение на любом из суперконденсаторов достигнет номинального значения.

Для поддержания мощности рассеяния в допустимой области LTC4425 ав-

томатически снижает ток заряда до 1/10 от установленного значения, как только напряжение на любом из суперконденсаторов приближается к напряжению ограничения.

Компенсатор утечки

Микросхема LTC4425 определяет любой разбаланс напряжений на суперконденсаторах, сравнивая V_{mid} и V_{out} и меняет ток через вывод V_{mid} для его устранения.

Компенсатор утечки микросхемы LTC4425 предназначен в основном для устранения последствий собственной утечки суперконденсатора, поэтому максимальный ток компенсации составляет около 1 мА. Тем не менее, взаимодействие ограничителя напряжения и компенсатора утечки позволяет устранить даже большой разбаланс. Разбаланс во время зарядки может возникнуть из-за того, что ёмкости соединённых в батарею суперконденсаторов отличаются. При зарядке одинаковым током напряжение на конденсаторе с большей ёмкостью будет ниже, чем на конденсаторе с меньшей ёмкостью. Таким образом, напряжение на меньшем конденсаторе войдёт в ограничение до того, как больший конденсатор зарядится, что приводит к разбалансу батареи. Компенсатор разбаланса начнёт работать и со временем сбалансирует батарею.

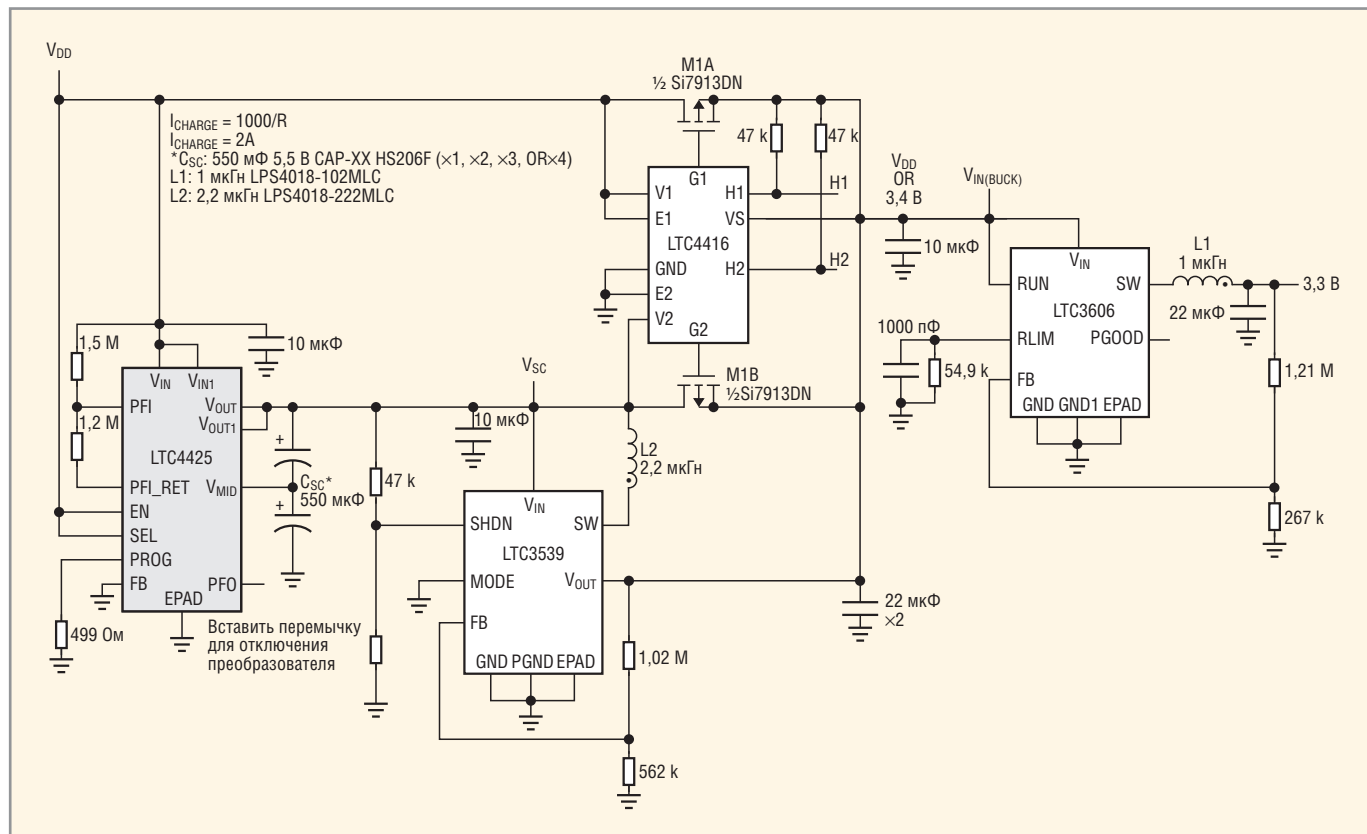


Рис. 4. Законченная система непрерывного питания на основе суперконденсаторов

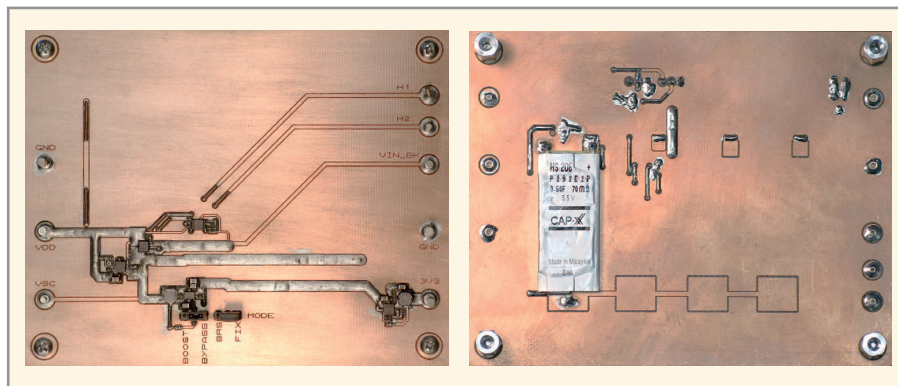


Рис. 5. Плата, использованная для проверки схемы с рис. 4

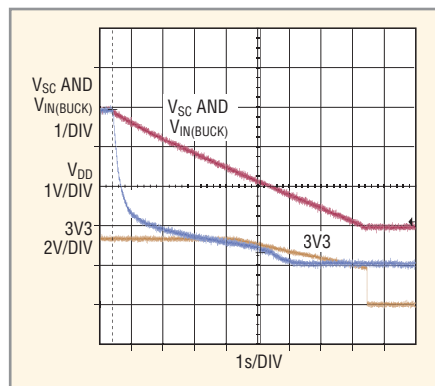


Рис. 6. Если Повышающий конвертер отключен, схема резервного питания может отдавать в нагрузку 0,67 Вт в течение 4,68 с

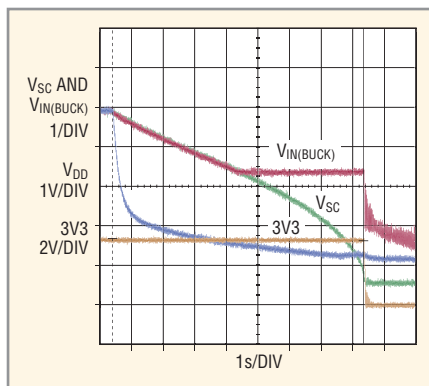


Рис. 7. С повышающим конвертером схема резервного питания может отдавать в нагрузку 0,67 Вт в течение 7,92 с

Вывод PFO

Микросхема LTC4425 контролирует напряжения V_{in} и V_{out} в зависимости от режима работы. Сигнал $\overline{PFO}$ принимает состояние «лог. 0», если в нормальном режиме работы напряжение на выводе PFI ниже 1,2 В, или $V_{in} - V_{out} > 250$ мВ, или если в режиме LDO $V_{fb} < 1,11$ В. Таким образом, сигнал $\overline{PFO}$ может использоваться для подключения нагрузки к суперконденсатору при снижении V_{in} (см. рис. 3)

Это особенно полезно, если ток нагрузки существенно выше максимально допустимого выходного тока LTC4425. Сигнал $\overline{PFO}$ может использоваться для подключения нагрузки к суперконденсатору *только* при пропадании V_{in} .

Сигнал $\overline{PFO}$ индицирует как пропадание входного напряжения, так и низкое напряжение на выводе FB. В режиме LDO вывод FB заземлён, поэтому сигнал $\overline{PFO}$ находится постоянно в состоянии «лог. 0» и маскирует любые сбои по V_{in} .

СИСТЕМА РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Многие электронные системы требуют наличия системы резервного пи-

тания, способной поддерживать их работоспособность при кратковременных отключениях энергии. В таких случаях некоторым системам нужно время для сохранения состояния, или обнуления памяти, или завершения задач. К примеру, винчестер должен припарковать головки, чтобы они не повредили поверхность дисков. Это пример электромеханической системы, которой нужно 20...100 мс резервного питания для полного завершения работы.

Ещё одним примером является влияние крупных электрических машин на энергетические системы. Когда запускается большой электродвигатель, например, кондиционера или лифта, напряжение в сети может на некоторое время заметно упасть. Обычно запаса энергии в конденсаторах блоков питания электронных приборов хватает на очень короткое время, оно может оказаться недостаточным. Приборам, питающимся от сети, необходим способ сохранения работоспособности на время восстановления напряжения питания.

Конечно, система резервного питания может быть создана на основе аккумуляторов, но во многих случаях для удовлетворения требований по ре-

зервному питанию потребуются очень большие батареи аккумуляторов. Хотя аккумуляторы могут запасать много энергии, отдаваемая ими удельная энергия невелика из-за их значительного внутреннего сопротивления. Аккумуляторы также имеют сравнительно короткий жизненный цикл, обычно 2–3 года, кроме того, существуют довольно жёсткие требования по уходу за ними и их зарядке.

Суперконденсаторы хорошо подходят для систем резервного питания нагрузок с высоким импульсным потреблением. Низкое внутреннее сопротивление позволяет им отдавать за короткое время высокую мощность, и они существенно более надёжны, чем аккумуляторы.

СИСТЕМА РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ

На рис. 4 приведена законченная система резервного питания, использующая микросхемы LTC4425, LTC4416, LTC3539 и LTC3606. Печатная плата показана на рис. 5. Система может выдавать напряжение 3,3 В при токе 200 мА в течение почти 8 с.

На LTC3606 собран понижающий стабилизатор с выходным напряжением 3,3 В. Микросхема LTC4416 выполняет функцию 2ИЛИ на идеальных диодах, обеспечивая максимальный КПД при переключении на работу от суперконденсатора. Микросхема LTC3539 является повышающим стабилизатором с отключаемым выходом. Этот повышающий стабилизатор работает с входным напряжением до 0,5 В и выдаёт выходной ток до $1,3 \times V_{out}/V_{in}$. В качестве суперконденсатора применён CAP-XX HS206F ёмкостью 0,55 Ф и номинальным напряжением 5,5 В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ

На рис. 6 показано выходное напряжение системы резервного питания при отключённом повышающем стабилизаторе LTC3539. Время работы с момента отключения питания до снижения выходного напряжения до 3 В составило 4,68 с. На рис. 7 показано выходное напряжение системы резервного питания при включённом повышающем конвертере LTC3539. Время работы с момента отключения питания до снижения выходного напряжения до 3 В составило 7,92 с.

Если повышающий стабилизатор LTC3539 выключен, то при исчезнове-

нии питающего напряжения идеальные диоды подключают вход понижающего стабилизатора LTC3606 к суперконденсатору. На рис. 6 напряжение на суперконденсаторе V_{sc} линейно снижается благодаря постоянству отдаваемой понижающим стабилизатором в нагрузку мощности $200 \text{ мА} \times 3,3 \text{ В}$.

Когда входное напряжение LTC3606 достигает граничного значения, его выходное напряжение начинает повторять входное. Через 4,68 с после отключения внешнего питания напряжение на суперконденсаторе снижается до 3 В, и выходное напряжение стабилизатора опускается ниже 3 В. Понижающий стабилизатор продолжает отслеживать напряжение на суперконденсаторе до уровня 2 В, после чего отключается.

На рис. 7 напряжение на суперконденсаторе V_{sc} также линейно снижается благодаря постоянству мощности, отдаваемой понижающим стабилизатором в нагрузку. Когда это напряжение достигает значения 3,4 В, повышающий стабилизатор начинает работу. Идеальный диод закрывается и отключает понижающий стабилизатор от суперконденсатора. Его входным напряжением является теперь выходное напряжение повышающего стабилизатора 3,4 В. Суперконденсатор теперь начинает разряжаться экспоненциально, поскольку входное напряжение повышающего стабилизатора падает, и он отбирает всё больше и больше тока для поддержания постоянного выходного напряжения 3,4 В.

Поскольку входное напряжение понижающего стабилизатора остаётся на уровне 3,4 В, его выходное напряжение остаётся стабилизированным. Когда входное напряжение повышающего стабилизатора опускается до уровня UVLO, он выключается, и его выходное напряжение немедленно исчезает, после чего выключается и понижающий стабилизатор.

ЭКОНОМИЧНОСТЬ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ

Какое напряжение должно быть установлено на выходе повышающего стабилизатора? Очевидно, работа системы с повышающим стабилизатором и без него одинакова, пока входное напряжение понижающего стабилизатора не достигнет порога. Одним из решений является минимизация времени, в течение которого работает повышающий стабилизатор, поскольку

каждый дополнительный каскад стабилизации снижает КПД системы. В данном случае мы установили выходное напряжение повышающего стабилизатора на уровне 3,4 В, предельно близко к минимально возможному значению входного напряжения понижающего стабилизатора.

Повышающий стабилизатор должен иметь синхронный выпрямитель для достижения максимально возможного КПД. Повышающий стабилизатор должен работать с минимально возможным входным напряжением для увеличения высвобождаемой из суперконденсатора энергии.

Если суперконденсатор заряжен до 5 В, его энергия составляет:

$$\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} 0,55 \text{ Ф} \times 5^2 = 6,875 \text{ Дж}.$$

Выходная мощность составляет $3,3 \text{ В} \times 0,2 \text{ А} = 0,67 \text{ Вт}$. Таким образом, КПД системы без повышающего стабилизатора составляет:

$$\frac{\varepsilon_{\text{load}}}{\varepsilon_{\text{cap}}} = \frac{0,67 \times 4,68 \text{ с}}{6,875} = 45,1\%.$$

С повышающим стабилизатором КПД составляет:

$$\frac{\varepsilon_{\text{load}}}{\varepsilon_{\text{cap}}} = \frac{0,67 \times 7,92 \text{ с}}{6,875} = 77\%.$$

В случае применения повышающего стабилизатора процент высвобожденной из суперконденсатора энергии повысился с 45,1 до 77%, следовательно, можно применять более дешёвый конденсатор с меньшей ёмкостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная здесь система резервного питания использует суперконденсатор ёмкостью 0,55 Ф, энергии которого достаточно до того, чтобы микроконтроллер успел завершить выполняемые им задачи. Одним из путей увеличения времени работы системы резервного питания является использование повышающего стабилизатора, который позволяет увеличить высвобождаемую суперконденсатором энергию на 30%. Это особенно актуально, если рабочее напряжение суперконденсатора снижено для увеличения его надёжности в условиях повышенной температуры. Кроме того, стабильность выходного напряжения во времени существенно повысилась благодаря тому, что стабильно входное напряжение оконечного стабилизатора.

Новости мира

Портативные осциллографы с 5,7-дюймовым VGA-дисплеем

Фирма Agilent расширила своё предложение портативных измерительных приборов двумя осциллографами. Речь идёт о модели U1610A 100 МГц и модели U1620A 200 МГц. Обе модели имеют VGA-дисплей и могут заказываться уже сейчас. В осциллографах допускается выбор между тремя рабочими режимами indoor, outdoor и night vision. За счёт этого пользователи могут чётко различать импульсы помех при всех условиях внешнего освещения.

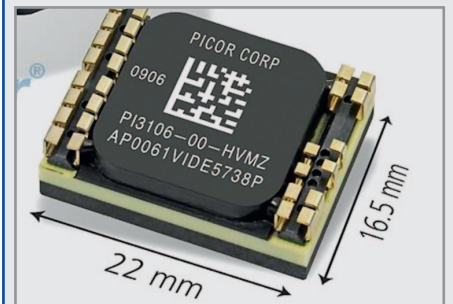


В outdoor-режиме показания прозрачно отражающего 5,7-дюймового дисплея без проблем считываются даже при ярком солнечном свете. Частота выборки осциллографов составляет 1 и 2 Гвыб/с соответственно, они имеют два изолированных входных канала (CATIII 600В), память до 2 Мвыб, 100-кратный зум и окно двойного зума для одновременного представления общей картины и деталей.

agilent.com

Изолированные DC/DC-преобразователи в планарном корпусе

Фирма Vicor представляет Picor Cool-Power PI3106, изолированный DC/DC-преобразователь, с выходной мощностью 50 Вт



(12 В × 4,2 А) в планарном корпусе размером 22 × 16,5 × 6,7 мм с удельной мощностью 20,4 Вт/см³. Входные напряжения составляют 16...50 В для военных приложений, а также 18...36 В для промышленных приложений. В Cool-Power PI3106 применена архитектура Zero Voltage Switching (ZVS). а также планарные магнитные компоненты.

vicorpower.com